

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Ida Mujkić

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**OBNOVA I RECIKLIRANJE OTPADNIH
LASERSKIH TONERA**

Mentorica:

dr. sc. Irena Žmak, doc.

Student:

Ida Mujkić

Zagreb, 2018.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem dr. sc. Ireni Žmak, doc. na odabiru teme i vodstvu pri izradi ovog rada. Nadalje, zahvaljujem djelatnicima tvrtke Spectra media d.o.o. koji su mi omogućili da se upoznam s njihovom tehnologijom, strojevima i opremom, te mi pružili sve potrebne informacije za izradu završnog rada.

Ida Mujkić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Ida Mujkić**

Mat. br.: 0035197682

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Obnova i recikliranje otpadnih laserskih tonera**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Refill and Recycling of Waste Toner Cartridges**

Opis zadatka:

Hijerarhija gospodarenja i postupanja s otpadom definira tzv. Pravilo 3R, prema engl. *Reuse, Reduce, Recycle* koje kao prvo upućuje na potrebu ponovne upotrebe proizvoda, zatim nastojanja smanjivanja količina otpada kojeg stvaramo, te konačno materijalnog recikliranja otpada. Kako je svijest građana o potrebi očuvanja okoliša i održivog razvoja sve veća, tako se i ovi principi gospodarenja otpadom sve više susreću i u svakodnevnom životu.

Jedan od proizvoda koji se široko upotrebljavaju i imaju relativno kratak životni vijek su i tiskarski toneri. Prema trenutno važećem Pravilniku o katalogu otpada (NN 90/2015) razlikujemo otpadne tiskarske tonere koji sadrže opasne tvari (ključni broj: 08 03 17) i one koji ih ne sadrže (ključni broj: 08 03 18).

U okviru ovog završnog rada potrebno je:

1. pretražiti podatke o prodajnim i otpadnim količinama tiskarskih tonera u Hrvatskoj
2. upoznati se s mogućnostima, uvjetima i troškovima obnove dotrajalih tonera i njihove ponovne upotrebe
3. upoznati se sa sustavom naknada za zbrinjavanje tonera za proizvođače ili uvoznike te za sakupljače i obrađivače ovog otpada
4. opisati sastav materijala uobičajenog tonera za uredske laserske pisače
5. opisati metode recikliranja koje se mogu primijeniti na tonere uredskih laserskih pisača.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
30. studenog 2017.

Rok predaje rada:
1. rok: 23. veljače 2018.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.
3. rok: 21. rujna 2018.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.
2. rok (izvanredni): 2.7. 2018.
3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Irena Žmak

Predsjednik Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
SAŽETAK.....	IV
SUMMARY.....	V
1. UVOD.....	1
2. OPĆENITO O EE OTPADU	3
2.1. Sustav za sakupljanje i recikliranje EE otpada u RH.....	4
2.1.1. Sustav za sakupljanje	5
2.1.2. Sustav za recikliranje	6
2.1.3. Naknade	6
3. OPĆENITO O TONERIMA.....	8
3.1. Gospodarenje otpadnim tonerima u Hrvatskoj	10
4. SASTAV TONERA	14
4.1. Tonski prah	16
4.2. Eksplozivnost tonskog praha	19
4.3. Mogućnosti upotrebe tonskog praha nakon recikliranja	21
5. OBNOVA TONERA	23
6. RECIKLIRANJE OTPADNIH TONERA	25
6.1. Separacija vrtložnim strujama - Eddy current.....	25
6.1.1. Povijest otkrića vrtložnih struja	26
6.1.2. Opis i primjena vrtložnih struja	26
6.2. Dijelovi linije za recikliranje otpadnih tonera.....	30
6.3. Opis tehnološkog procesa na liniji za recikliranje tonera	32
6.4. Daljnja obrada dobivenih frakcija.....	34
7. ZAKLJUČAK.....	39
LITERATURA.....	40

POPIS SLIKA

Slika 1. Pisači, kopirni uređaji i toneri [5]	8
Slika 2. Princip elektrofotografije u laserskom pisaču [6]	9
Slika 3. Prateći list za opasni otpad [7]	11
Slika 4. Letak ovlaštenog sakupljača [8]	12
Slika 5. Sastavni dijelovi tonera [9]	14
Slika 6. Sastav tonera [9]	15
Slika 7. Boje tonerskog praha	17
Slika 8. Aditiv na bazi kalcita	20
Slika 9. Mješavina tonerskog praha i kalcita	20
Slika 10. Shema nastajanja vrtložnih struja [17]	27
Slika 11. Shema vrtložnih struja u kočnici [17]	28
Slika 12. Znak upozorenja [19]	29
Slika 13. Linija za obradu otpadnih tonera	31
Slika 14. Tonski prah pomiješan sa kalcitom	32
Slika 15. Ostali dijelovi obrađenih tonera	33
Slika 16. Ciklon i filter sa vanjske strane hale	33
Slika 17. Shema linije za obradu dobivenih frakcija	34
Slika 18. Shematski prikaz rada magnetskog separatora [9]	35
Slika 19. Shematski prikaz rada separatora s vrtložnom strujom [9]	36
Slika 20. Dobivena frakcija čelika i magneta	37
Slika 21. Dobivena frakcija aluminija	37
Slika 22. Dobivena frakcija polimernih materijala	38

POPIS TABLICA

Tablica 1. Naknade [2]	7
Tablica 2. Klasifikacija otpadnih tonera prema Katalogu otpada [4]	10
Tablica 3. Količine recikliranih otpadnih tonera u RH	13
Tablica 4. Sastav tonerskog praha [9]	16
Tablica 5. Usporedne cijene originalnih i obnovljenih tonera	24
Tablica 6. Dijelovi linije.....	31

SAŽETAK

Otpadni toneri svrstavaju se u opasni otpad jer sadrže metale, polimerne materijale i toksični prah. Kako se tonerski prah uglavnom sastoji od čestica ugljika, u doticaju sa zrakom postaje eksplozivan. Gospodarenje otpadnim tonerima promatra se kroz djelatnost obnove tonera (eng. *Refill*) i njihove ponovne upotrebe (eng. *Reuse*) i recikliranja tonera (eng. *Recycle*) kojim se dobivaju vrijedne sekundarne sirovine.

Tonerski prah kao sekundarna sirovina može se iskoristiti kao vrijedna sirovina u građevinskoj industriji u proizvodnji bitumena i asfaltnih smjesa. Ostale dobivene frakcije polimernih materijala, aluminijska i čelika vraćaju se kao sekundarne sirovine u ponovnu proizvodnju.

Svrha ovog rada bila je prikazati mogućnosti, uvjete i troškove u procesu obnove dotrajalih tonera kao i sustav za zbrinjavanje i recikliranje otpadnih tonera.

Ključne riječi: EE-otpad, otpadni toneri, tonerski prah, obnova i ponovna upotreba, recikliranje otpadnih tonera

SUMMARY

Waste toner cartridges are classified as hazardous waste because they contain metals, polymer materials and toxic dust which is mainly composed of carbon particles and becomes explosive in contact with air. We observe waste toner management through toner refilling, reusing and recycling that provides valuable secondary raw materials.

Toner dust, as a secondary raw material, can be used as a valuable raw material in construction industry for bitumen and asphalt mixtures production. Other fractions of polymer materials, aluminium and steel we get from the recycling process are being reused as secondary raw materials in toner production.

The purpose of this paper is to present the possibilities, conditions and costs in the process of refilling the toner cartridges as well as the waste toner disposal and recycling system.

Keywords: EE-Waste, Waste Toner Cartridges, Toner Dust, Refill and Reuse, Waste Toner Cartridge Recycling

1. UVOD

Gospodarski rast i rastuća potrošnja materijala u cijelom svijetu rezultiraju stalnim povećanjem količine otpada što predstavlja jedan od najvećih problema zaštite okoliša koji izravno utječe na ljudsko zdravlje i kvalitetu života. Nove tehnologije sve brže zamjenjuju milijune električnih i elektroničkih uređaja, što uzrokuje njihovo masovno odlaganje na odlagališta i stvaranje velike količine otpada. Ova vrsta otpada naziva se električni i elektronički otpad (EE-otpada) i spada u kategoriju najbrže rastućeg otpada.

Zbrinjavanje EE-otpada mora se sustavno rješavati na najprimjereniji način. Zbog različitih vrsta vrijednih sastojaka smatra se vrijednim izvorom sekundarnih sirovina, no prisutnost opasnih sastojaka svrstava ovaj otpad u opasan otpad te se on istovremeno smatra i potencijalnim zagađivačem okoliša.

Odvojeno sakupljanje otpada i recikliranje temelji su modernog upravljanja otpadom. Pravilnim odvajanjem i razvrstavanjem otpada, kojeg svakodnevno proizvodimo, omogućujemo ponovnu upotrebu ovih materijala za proizvodnju novih proizvoda iste ili slične namjene.[1]

Jedna od podvrsta otpada koja se javlja kao sastavni dio EE-otpada su otpadni toneri koji se koriste u fotokopirnim uređajima i pisačima. To su proizvodi široke upotrebe koji imaju relativno kratak životni vijek. Prema *Pravilniku o katalogu otpada* razlikujemo otpadne tiskarske tonere koji sadrže otpadne tvari (ključni broj: 08 03 17*) i one koji ih ne sadrže (ključni broj: 08 03 18).

Zbog njihovog opasnog sastava, ali i zbog korisnih materijala koji se mogu ponovno iskoristiti i reciklirati, važno je da se ne odbacuju u komunalni otpad, već da se odvoje od ostalog otpada i predaju ovlaštenoj tvrtci na zbrinjavanje.

Prema podacima u Republici Hrvatskoj u 2017.godini sakupilo se 116 tona otpadnih tonera te se procjenjuje godišnje povećanje količina 10%.[2]

Cilj ovog rada je prikazati i opisati sastav materijala uobičajenog tiskarskog tonera, prikazati mogućnosti ponovne upotrebe, opisati metode recikliranja koje se mogu primijeniti na otpadne tiskarske tonere te prikazati sustav gospodarenja otpadnim tiskarskim tonerima u Republici Hrvatskoj kroz sustav sakupljanja i oporabe.

2. OPĆENITO O EE-OTPADU

Električni i elektronički otpad (EE-otpad) spada u posebne kategorije otpada (PKO). On sadrži vrijedne metalne i nemetalne sirovine koje se dobivaju materijalnom oporabom (recikliranjem), a mogu se koristiti i u energetske svrhe. Izdvajaju se i dijelovi koji se koriste za ponovnu uporabu.

Električni i elektronički uređaji i oprema predstavljaju sve proizvode koji su za svoje pravilno djelovanje ovisni o električnoj energiji ili elektromagnetskim poljima, kao i oprema za proizvodnju, prijenos i mjerenje struje, te je namijenjena korištenju pri naponu koji ne prelazi 1.000 V za izmjeničnu i 1.500 V za istosmjernu struju.[3]

EE otpad se prema nastanku dijeli u dvije grupe:

- EE-otpad iz kućanstva
- EE-otpad koji nastaje u gospodarstvu

Postoji 10 kategorija EE-uređaja i opreme, a prema tome se i klasificira EE-otpad:

1. veliki kućanski uređaji: električni štednjaci, strojevi za pranje rublja, hladnjaci, kuhinjske peći, sušilice rublja, hlanjaci, klima uređaji
2. mali kućanski uređaji: usisivači, glačala, tosteri, uređaji za sušenje kose, pržilice, vage
3. oprema informatičke tehnike (IT) i oprema za telekomunikacije: računala, pisači, kopirna oprema, kalkulatori, telefoni, mobiteli
4. oprema široke potrošnje i fotonaponske ploče: radioaparati, televizijski aparati, Hi-fi uređaji, audio pojačala, glazbeni instrumenti
5. rasvjetna oprema
6. električni i elektronički alati (osim velikih nepokretnih industrijskih alata): bušilice, pile, šivaći strojevi
7. igračke, oprema za razonodu i sportska oprema
8. medicinski proizvodi (osim svih implantiranih i inficiranih proizvoda)
9. instrumenti za praćenje i kontrolu: detektori dima, termostati, regulatori grijanja
10. automatski samoposlužni uređaji: automatski uređaji za izdavanje toplih napitaka, za izdavanje novca i sl.

Prema svojstvima otpad se može podijeliti na:

- opasni
- neopasni
- inertni

Cjelokupni EE-otpad svrstava se u red opasnog otpada zbog opasnih komponenti kao što su toksični metali: živa, kadmij, krom (IV), bromirani usporivači gorenja (BFRs): polibromirani bifenili (PBB), polibromirani difenil eteri (PBDE) te ostale opasne supstance: brom, azbest, arsen, fosfor, spojevi silicija i drugi.

Zbog opasnih komponenti koje EE-otpad sadrži, nesmiye nikako završiti niti u glomaznom niti u komunalnom otpadu, te se mora sakupljati odvojeno od ostalih vrsta otpada kako bi se opasni dijelovi izdvojili i zbrinuli na odgovarajući način, a neopasni dijelovi (metal, polimeri, drvo i sl.) ponovno upotrijebili.[3]

2.1. Sustav za sakupljanje i recikliranje EE-otpada u RH

Ulaskom u Europsku Uniju prihvaćeni su i europski standardi očuvanja okoliša, a među kojima je i zakonska odgovornost posjednika otpada da vodi brigu o njegovom ekološkom zbrinjavanju. Hrvatska je kao i sve države EU prenijela odredbe *Direktive o otpadnoj električnoj i elektroničkoj opremi* (eng. *WEEE Directive 2012/19/EU*) i *Direktive za ograničenje opasnih tvari* (eng. *RoHS Directive 2002/95/EC*) u nacionalno zakonodavstvo.[4]

Na temelju članka 12. stavka 6. *Zakona o održivom gospodarenju otpadom* (NN 94/13) donesen je *Pravilnik o katalogu otpada* (NN 90/15). Ovim pravilnikom propisuje se katalog otpada, kategorizacija za prekogranični promet otpadom i količina određenog otpada koja se smatra neznatnom. Prema ovom pravilniku određuje se ključni broj otpada koji predstavlja jedinstvenu oznaku vrste otpada, koja se sastoji od šesteroznamenkastoga broja kojem je, u slučaju opasnog otpada, pridružen znak zvjezdice *.[4]

U Republici Hrvatskoj gospodarenje EE-otpadom regulira *Ministarstvo zaštite okoliša i prirode* kao krovna državna institucija koja donosi zakone i pravilnike i *Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost* koji regulira sva plaćanja vezana za naknade gospodarenja otpadom te vodi očevidnike obveznika plaćanja.

Gospodarenje EE-otpadom organizirano je kroz dva sustava:

- Sustav za sakupljanje EE-otpada
- Sustav za oporabu/recikliranje EE-otpada

2.1.1. Sustav za sakupljanje

Sakupljanje EE-otpada sastoji se od prikupljanja, razvrstavanja i privremenog skladištenja u svrhu prijevoza na obradu.

Za posjednika EE-otpada sakupljanje i zbrinjavanje je potpuno besplatno. Ovlaštene tvrtke sakupljači ili njihovi ovlaštteni podsakupljači preuzet će EE-otpad od posjednika i zbrinuti ga na siguran način.

Sakupljač EE-otpada je pravna ili fizička osoba-obrtnik koja sukladno *Zakonu o održivom gospodarenju otpadom* ima dozvolu za obavljanje djelatnosti sakupljanja EE-otpada. Obvezan je od posjednika preuzeti EE-otpad u cijelosti, bez naplate i unutar 20 dana od poziva i predati ga obrađivaču.[3]

Ovlaštteni sakupljači u sustavu gospodarenja EE-otpadom kojim upravlja Fond:

- ❖ Tvrtka Flora VTC d.o.o., 33000 Virovitica, Vukovarska 5,
ovlaštteni sakupljač 1. do 10. kategorije EE-otpada za cijelu Republiku Hrvatsku
- ❖ Tvrtka CE-ZA-R d.o.o., 10090 Zagreb, Josipa Lončara 15,
ovlaštteni sakupljač 1. kategorije EE-otpada za Grad Zagreb, Zagrebačku županiju i Krapinsko-zagorsku županiju
- ❖ Tvrtka METIS d.d., 51227 Kukuljanovo, Kukuljanovo 414,
ovlaštteni sakupljač 1. kategorije EE-otpada za Primorsko-goransku županiju, Istarsku županiju i Ličko-senjsku županiju [2]

2.1.2. Sustav za recikliranje

Obrada EE-otpada su postupci uporabe ili zbrinjavanja EE-otpada i postupci pripreme prije uporabe ili zbrinjavanja EE-otpada.

Obrađivač je obavezan bez naplate i uz ovjeru pratećeg lista sakupljača, preuzeti od sakupljača sav sakupljeni EE-otpad te ga obraditi u skladu s odredbama *Pravilnika o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom*.

Obrađivač EE-otpada je pravna ili fizička osoba-obrtnik koja sukladno *Zakonu o održivom gospodarenju otpadom* ima dozvolu za obavljanje djelatnosti obrade EE-otpada.

Ovlašteni obrađivači u sustavu gospodarenja EE-otpadom kojim upravlja Fond:

- ❖ Tvrtka CE-ZA-R d.o.o., 10090 Zagreb, Josipa Lončara 15,
ovlašteni obrađivač 1. kategorije EE-otpada
- ❖ Tvrtka SPECTRA MEDIA d.o.o., 10000 Zagreb, Gradišćanska 20,
ovlašteni obrađivač 2. do 10. kategorije EE-otpada [2]

2.1.3. Naknade

Proizvođači EE-opreme dužni su plaćati naknadu gospodarenja EE-otpadom u svrhu pokrivanja troškova odvojenog sakupljanja i obrade EE-otpada u sustavu kojim upravlja Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost.

Osnova za obračun naknade je (neto) masa EE-opreme proizvedene i/ili uvezene i /ili unesene za vlastite potrebe i/ili stavljene na tržište RH izražena u kilogramima. Iznimno, iznos naknade za strojeve za pranje rublja je umnožak 70% iznosa ukupne mase stroja za pranje rublja i jedinične naknade, a iznos naknade za svu EE-opremu koja premašuje masu od 500 kg po jedinici opreme je umnožak mase od 500 kg i iznosa jedinične naknade.

Jedinična naknada za svu EE-opremu iznosi 2,25 kn/kg.

Sakupljač ima pravo na naknadu troškova za sakupljene, privremeno skladištene, razvrstane, prevezene i predane količine EE-otpada obrađivaču.

Obrađivač ima pravo na naknadu troškova obrade i recikliranja EE-otpada za sakupljeni otpad preuzet od sakupljača.

Tablica 1. Naknade [2]

Naknada u sustavu Fonda	Iznos naknade od 1. 1. 2009. do danas
Proizvođač plaća Fondu	2,25 kn/kg
Fond plaća sakupljaču	2,60 kn/kg
Fond plaća obrađivaču	1,40 kn/kg za 1. kategoriju 1,60 kn/kg za 2. do 10. kategoriju

3. OPĆENITO O TONERIMA

Toneri su sastavni dijelovi pisača i fotokopirnih uređaja koji na neki materijal, poput papira, stvaraju fizičku kopiju nekog dokumenta ili slike na osnovi podataka u elektroničkoj formi u računalu, (Slika 1.).



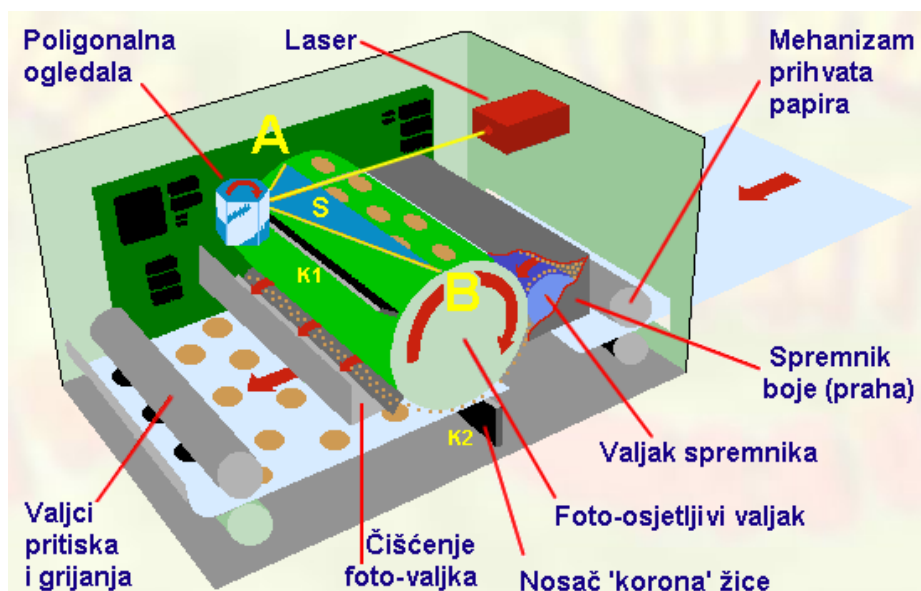
Slika 1. Pisači, kopirni uređaji i toneri [5]

Naziv TISKAČ je opći pojam i primjereniji je za uređaje u tiskari. Pisač je izlazni uređaj koji rezultate obrade iscertava na papiru. Jedno od prvih rješenja ispisa je **igličasti pisač** koji znakove ispisuje udaranjem iglica preko tintne trake u papir.

Bolje rješenje od igličastih pisača u Windows-grafičkom okruženju su **tintni pisači** (eng. *ink-jet*) koji tekst i sliku kreiraju na sličan način kao igličasti, ali umjesto iglica na glavi pisača nalaze se male rupice kroz koje se na papir ubrizgava tinta.

Najkvalitetnije rješenje je **laserski pisač**. Osnovna tehnologija ispisa kakva se koristi u laserskim pisačima osmišljena je još 40-ih godina, a koristila se kod fotokopirnih uređaja. Suštinska razlika je u tome što ulogu objektiva i lampe za osvjetljavanje koje imaju fotokopirni uređaji preuzima laserska ili led-svjetlosna zraka kod pisača.

Laserski pisač se sastoji od tonera, lasera, fotoosjetljivog valjka i "korona - žice" koji rade na principu elektrofotografije (Slika 2.).



Slika 2. Princip elektrofotografije u laserskom pisaču [6]

Kao osnovu za stvaranje slike koristi se valjak na kojem je foto-osjetljivi premaz koji ima svojstvo da može prihvatiti električni naboj u malim pojedinačnim električki nepovezanim elementima površine valjka.

Pozitivno nabijeni elementi na foto-osjetljivom valjku prihvatiti će čestice praha (boja, toner) koje su negativno nabijene a koje pred foto-osjetljivi valjak dovodi valjak spremnika praha. Kada čestice praha na foto-osjetljivom valjku stvore pozitivnu sliku, potrebno ju je još prenijeti na papir. To se također obavlja pomoću električnog naboja.

Prah s valjka prenosi se na papir pomoću električki nabijene žice-elektrode koja povuče čestice praha s valjka prema sebi i na taj način ih prenese na papir koji prolazi između valjka i žice-elektrode. Brzina prolaska papira mora biti usklađena s brzinom okretanja foto-osjetljivog valjka. Slika je prenesena na papir, no prah još uvijek nije fiksiran na površinu papira pa bi se vrlo brzo s nje obrisao. Fiksiranje obavlja mehanizam grijača kombiniranjem tlaka i zagrijavanjem tako da se čestice praha zapravo utisnu u papir i upeku što konačni ispis čini kvalitetnim, preciznim i nadasve otpornim na vanjski utjecaj.[6]

3.1. Gospodarenje otpadnim tonerima u Hrvatskoj

Prema *Pravilniku o katalogu otpada (NN 90/15)* otpadni toneri se vode pod dva ključna broja:

- **08 03 17*** opasni otpad
- **08 03 18** neopasni otpad

Prve dvije znamenke ključnog broja određuju pripadnost grupi u koju je razvrstana ta vrsta otpada, druge dvije znamenke ključnog broja određuju pripadnost podgrupi u koju je razvrstana ta vrsta otpada, a zadnje dvije znamenke ključnog broja određuju vrstu otpada unutar podgrupe (Tablica 2.).[4]

Tablica 2. Klasifikacija otpadnih tonera prema Katalogu otpada [4]

<i>Ključni broj</i>	<i>Naziv otpada</i>	<i>Opis</i>
08 03 17*	Otpadni tiskarski toneri koji sadrže opasne tvari	– ostaci od obnavljanja kazeta (mlazni pisač)
		– ostaci od obnavljanja kazeta (laserski pisač), kazete-toner
		– ostaci od obnavljanja kazeta za laserske pisače
		– ostaci od obnavljanja kazeta za mlazne pisače
		– kazete za toner
08 03 18	Otpadni tiskarski toneri koji nisu navedeni pod 08 03 17*	– ostaci od obnavljanja kazeta (mlazni pisač)
		– ostaci od obnavljanja kazeta (laserski pisač), kazete-toner
		– ostaci od obnavljanja kazeta za laserske pisače
		– ostaci od obnavljanja kazeta za mlazne pisače
		– kazete za toner

Iskorištene tonere za pisače nije dozvoljeno odlagati zajedno s ostalim otpadom iz domaćinstva, već ih je potrebno izdvojiti i predati ovlaštenim sakupljačima. Time se pravilno zbrinjavanju i recikliraju toneri za pisače, a ujedno se vodi briga o okolišu i zdravlju ljudi. Donošenjem starih i istrošenih tonera za pisače u prodavaonice ili servise specijalizirane za takve vrste elektroničkih uređaja i opreme, toneri će biti pravilno zbrinuti. Neki ovlašteni sakupljači tonera nude i zamjenu “staro za novo” ili daju određene popuste na kupnju, prilikom donošenja istrošenih tonera. Svim pravnim osobama koje predaju otpadne tonere na zbrinjavanje izdaje se Prateći list za otpad - obrazac PL-O (Slika 3.), dokument propisan *Pravilnikom o gospodarenju otpadom (NN 23/14)*, kao dokaz da je otpad zbrinut na zakonom propisani način.

ČETVRTAK, 20. VELJAČE 2014.		NARODNE NOVINE SLUŽBENI LIST REPUBLIKE HRVATSKE		BROJ 23 – STRANICA 37	
DODATAK XIII					
Obrazac PL-O					
PRATEĆI LIST ZA OTPAD					
Godina: Broj PL-O:					
DIO A – PODACI O OTPADU					
Vrsta otpada: komunalni <input type="checkbox"/> proizvodni <input type="checkbox"/> opasni <input type="checkbox"/> neopasni <input type="checkbox"/> (inertni <input type="checkbox"/>)					
Ključni broj otpada: KOLIČINA OTPADA U KG:					
Opis otpada: Oznake H:					
Način pakiranja otpada: Rasuto <input type="checkbox"/> Posuda <input type="checkbox"/> Kanta <input type="checkbox"/> Kanistar <input type="checkbox"/> Kontejner <input type="checkbox"/> Bačva <input type="checkbox"/> Kutija <input type="checkbox"/> Vreća <input type="checkbox"/> Ostalo <input type="checkbox"/>					
Podaci o porijeklu komunalnog otpada (naselje/jedinica lokalne samouprave/županija):					
Ukoliko je riječ o otpadu koji nastaje obavljanjem djelatnosti gospodarenja otpadom upisati šifru djelatnosti I:					
DIO B – PODACI O TVRTKI/OBRТУ KOJA PREDAJE OTPAD					
Naziv tvrtke/obrta:			Odgovorna osoba koja predaje otpad:		
OIB/MBO:			Potpis odgovorne osobe: M.P.		
Adresa (sjedišta):			Datum predaje otpada:		
Adresa organizacijske jedinice:					
NKD razred (2007):					
Kontakt osoba:					
Tel/Mob/Faks/e-mail:					
DIO C – PODACI O TVRTKI/OBRТУ KOJA PREUZIMA OTPAD					
Naziv tvrtke/obrta:			Odgovorna osoba koja preuzima otpad:		
OIB/MBO:			Potpis odgovorne osobe: M.P.		
Adresa (sjedišta):			Datum preuzimanja otpada:		
Adresa lokacije preuzimanja:					
Šifra djelatnosti I:					
Kontakt osoba:					
Tel/Mob/Faks/e-mail:					
DIO D – PODACI O PRIJEVOZNIKU					
Naziv tvrtke/obrta:			Registracija prijevoznog vozila:		
OIB/MBO:			Vozač: M.P.		
Adresa (sjedišta):			Potpis vozača:		
Broj upisa u Očevidnik prijevoznika: PRV-					
Kontakt osoba:					
Tel/Mob/Faks/e-mail:					
Napomena:					

Slika 3. Prateći list za opasni otpad [7]



Slika 4. Letak ovlaštenog sakupljača [8]

Otpadne tonere za pisače može se ukloniti iz toka otpada na nekoliko načina: kontaktiranjem ovlaštenih sakupljača EE-otpada (Slika 4.), donošenjem i odlaganjem starih i istrošenih tonera u reciklažna dvorišta, donošenjem u specijalizirane trgovine i servise, prodajom ovlaštenim otkupljivačima te sudjelovanjem u akcijama prikupljanja starih i istrošenih tonera koje periodično organiziraju udruge.[8]

Količina otpadnih tonera se značajno povećava sve većim razvojem tehnologije i povećanim potrebama za printerima i kopirnim uređajima. Državni koncesionar za recikliranje i uporabu otpadnih tonera u Hrvatskoj je tvrtka Spectra media d.o.o. od koje su dobiveni podaci o količinama oporabljenih otpadnih tonera u protekle tri godine te su prikazani u Tablici 3.

Tablica 3. Količine recikliranih otpadnih tonera u RH

<i>Godina</i>	<i>Količina recikliranih tonera u tonama</i>	
	<u>08 03 17*</u>	<u>08 03 18</u>
2015.	<i>89,2 t/g</i>	<i>1,4 t/g</i>
2016.	<i>124,5 t/g</i>	<i>0,8 t/g</i>
2017.	<i>114,5 t/g</i>	<i>0,6 t/g</i>

Toner predstavlja potrošni dio pisača i kopirnih uređaja te kao takav ne spada u skupinu EE-otpada. Njegovo zbrinjavanje nije pokriveno naknadama Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitosti.

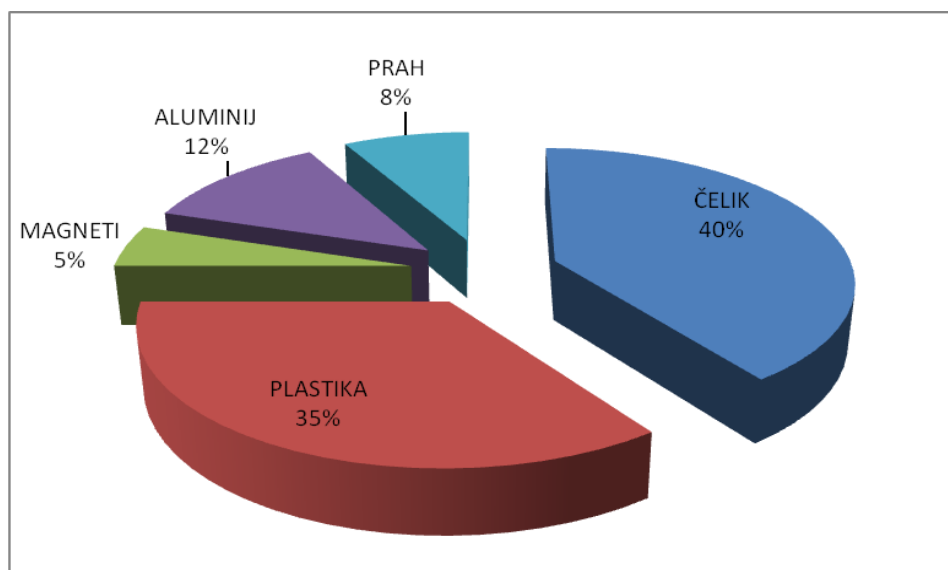
Jedna od cijena za zbrinjavanje tonera na hrvatskom tržištu iznosi **4 kn/kg** (+ PDV).

4. SASTAV TONERA

Otpadni toneri sadrže metale, polimerne materijale i otpadni otrovni prah koji ima veliku eksplozivnost i visoki sadržaj ugljika te se zbog toga karakteriziraju kao opasan otpad. Slika 5. prikazuje sastav tonera koji je manualno rastavljen, te su vidljivi sastavni dijelovi tonera kao što su polimerni materijali, aluminijske legure, čelik te tonerski prah.[9]



Slika 5. Sastavni dijelovi tonera [9]



Slika 6. Sastav tonera [9]

Na Slici 6. vidi se da 8 % sastava tonera čini tonerski prah dok najviše 35 % čine polimeri, odnosno 40 % čelik.

Materijali kao što su čelik, aluminij, polimeri i magneti se recikliraju i ponovno koriste kao sekundarne sirovine. Štetne komponente tonera, otrovni prah koji čini njegovu ispunu, trebali bi se odvojeno sakupljati i poslati na posebnu obradu. Oko 10 % tonera zaostaje u uređajima.

Tek oko 25 % svih tonera u svijetu se koristi ponovno. Toneru odloženom na nepropisani način potrebno je 450 - 500 godina za razgradnju. Propisno zbrinjavanje tonera i njegova ponovna uporaba ima približno 95 % manje štetan utjecaj na čovjeka i okoliš.[9]

4.1. Tonerski prah

Organske makromolekulske komponente čine glavni sadržaj tonerskog praha koji je vrlo štetan za okoliš i za ljudsko zdravlje ukoliko dođe do njegovog rasipanja. Zbog toga je veoma važno na koji način reciklirati otpadne tonere ne samo zbog njihove ponovne upotrebe već i zbog zaštite okoliša. Odlagališta i spalionice nisu pogodne za gospodarenje opasnim otpadnim tonerima iz sljedećih razloga:

- polimerni materijali imaju dugo vrijeme raspadanja u okolišu
- kod spaljivanja mogu se pojaviti otrovni plinovi furan i dioksin
- zagađivanje okoliša zaostalim tonerskim prahom bilo na odlagalištu ili u spalionici

Sastav tonerskog praha prikazan je u Tablici 4.

Tablica 4. Sastav tonerskog praha [9]

<i>Sastav</i>	<i>Materijal</i>	<i>Funkcija</i>	<i>Maseni udio [%]</i>	<i>Veličina čestica [μm]</i>	<i>Toksičnost</i>
čada (crni ugljik)	polakrilat-stiren kopolimer	materijal za otisak	50-60		visoka
magnetski prah	Fe ₃ O ₄	veže tonerski prah	20-30		nema
polimer	polietilen/ polipropilen parafin vosak	kontrolira talište tonerskog praha	2-4	8-12	visoka
sredstvo za kontrolu napunjenosti	hidroksilna aromska kiselina i derivati	kontrolira napunjenost tonerskog praha	10-20		visoka
aditiv	SiO ₂	poboljšava tečnost tonerskog praha	1-3		nema

Tonerski prah se sastoji uglavnom od čađe (poliakrilat stiren kopolimer) koja se upotrebljava kao crni pigment, crnog magnetičnog praha koji nastaje od minerala magnetita (Fe_3O_4), polimerne smole (polietilenski/polipropilenski parafinski vosak), sredstva za kontrolu naboja te aditiva kao što su titanijev dioksid (TiO_2) ili silicijev dioksid (SiO_2). Postoje četiri osnovne boje: crna, cijan, magenta, žuta (Slika 10.).[9]



Slika 7. Boje tonerskog praha

Proizvodnja crnog ugljičnog pigmenta je proces koji se odvija pri visokim temperaturama, da bi se ugljikovodici (sirovine) razbili na elementarni ugljik.

Crni ugljik (čaća) koji dolazi direktno iz rafinerije se sastoji od aromatskih ugljikovodika i zbog toga ima visok omjer C:H (8:1). Prirodni plin se koristi za zagrijavanje zraka i uklanjanje prisutnog kisika. Zrak se zatim koristi za isparavanje i razgradnju sirovine na crni ugljik (čaću). Nakon toga se čaća izdvaja i peletizira. Prije nego što je proizvod gotov, uklanjaju se nečistoće, mehanički ili magnetski.[10]

Magnetit (Fe_3O_4) je prirodni oblik željezne rude. Čistoća potrebna da bi se koristio kao pigment zahtijeva alternativne metode proizvodnje. Jedna od metoda kojom se proizvodi magnetit je taloženje željeznog sulfata (FeSO_4) pomoću natrijeva hidroksida (NaOH). Željezni sulfat je nusproizvod proizvodnje titanijevog dioksida, u kojoj se koristi željezni titanijev oksid (FeTiO_3) kao sirovina. Natrijev hidroksid koji se koristi u proizvodnji magnetita je nusproizvod procesa dobivanja klora elektrolizom.[10]

Polimerna - smola čini većinu smjese i ključna je za sam proces elektrofotografije. O taljivosti smole ovisi prijanjanje tonerskog praha za papir. Smola koja se koristi u proizvodnji tonerskog praha je kopolimer stirena i butadiena. Stiren i butadien su dobiveni organskom kemijskom proizvodnjom te pomoću metoda separacije. Oba materijala su produkti krekiranja para etana, koji je odvojen od prirodnog plina.[10]

Polimerne komponente unutar tonera su općenito vrlo hidrofobne u prirodi. Nisu topljive ni u vodi ni u anorganskim otapalima.[10]

4.2. Eksplozivnost tonerskog praha

Tonerski prah je sastavljen od različitih materijala, čelika, ugljika i drugih organskih materijala koji dolaze u obliku finih čestica veličine uglavnom manje od 10 μm . Prilikom drobljenja tonera u procesu recikliranja, noževi koji drobe tonere, zagrijavaju se zbog trenja uslijed čega može doći do zapaljenja i eksplozije tonerskog praha.

Kao i ostale organske tvari u praškastom obliku, tonerski prah ima mogućnost brzog širenja plamena odnosno nastanka eksplozije zbog sadržanog ugljika u česticama. Kako je kisik jedan od najvažnijih faktora za uspješno gorenje, a oko sitnih čestica ga ima u dovoljnim količinama, pri uvjetima povišene temperature može doći do zapaljenja i brzog širenja plamena. Što su čestice sitnije, to je veća mogućnost eksplozije.[11]

Jedna od bitnih mjera za prevenciju nastanka eksplozije je smanjenje koncentracije kisika u području obrade tonera. Nadalje, bitno je i održavati radni prostor čistim odnosno sa što manjom koncentracijom rasutog tonerskog praha koji se trenutno ne obrađuje. Također, potrebno je da oprema koja se koristi u postrojenju bude otporna na eksplozije. U samom procesu usitnjavanja tonerskih spremnika može se ugraditi sustav za hlađenje noževa.[11]

Kako bi se smanjila eksplozivnost tonerskog praha pri obradi, istraživanjima je utvrđeno da se dodatkom aditiva na bazi kalcita može smanjiti eksplozivnost i to u jednakom omjeru aditiva i tonerskog praha. Iz podataka da se u RH skupi 116 tona tonerskih spremnika godišnje, nakon dodavanja kalcita, generira se cca 17,50 t smjese tonerskog praha i kalcita. Umješavanjem aditiva na bazi kalcita (Slika 8.) i otpadnog tonerskog praha u omjeru 50:50 nastaje neopasan otpad što je prikazano na Slici 9.



Slika 8. Aditiv na bazi kalcita



Slika 9. Mješavina tonerskog praha i kalcita

4.3. Mogućnosti upotrebe tonerskog praha nakon recikliranja

Istraživanja su pokazala da je moguće iskoristiti reciklirani tonerski prah na nekoliko načina.

Jedan od načina je umješavanje tonerskog praha u bitumen. Bitumen (lat. zemljana smola) je zajednički naziv za smjesu organskih spojeva koji nastaju kao crni nehlapljivi ostaci pri destilaciji nafte (asfaltni bitumen). To je termoplastična tekućina i na visokoj temperaturi ili niskom opterećenju ponaša se kao viskozna tekućina. Dodavanje ne-bitumenske komponentne u smjesu za asfaltiranje uzrokuje fizičke i kemijske promjene u svojstvima izvornih komponenata.[12]

Dio agregata u smjesi za asfaltiranje moguće je zamijeniti tonerskim prahom. U istraživanjima su dodavani različiti udjeli tonerskog praha (od 0 % do 16 %) te su ispitivana svojstva bitumena u usporedbi s klasičnom mješavinom bitumena. Daljnjom analizom pokazano je da se tonerski prah može upotrijebiti kao punilo u bitumenu i asfaltu koji se koriste za potrebe izgradnje ceste. Rezultati istraživanja su pokazali da se smjesa koja sadrži 10 % tonerskog praha i kalcita u omjeru 50:50 % može upotrijebiti u proizvodnji bitumena. Primjećena su poboljšanja pojedinih svojstava bitumena kao što je temperaturna otpornost.[12]

Druga mogućnost je umješavanje tonerskog praha u asfaltnu smjesu. Postoje dva načina njegovog umješavanja:

1. izravno umješavanje suhog tonerskog praha agregatu ili dodavanje praha asfaltnom cementu
2. umješavanje tonerskog praha preko nekog medija kao što je ulje, disperzna sredstava ili voda u kombinaciji s emulzijskim sredstvima.

Dodavanjem tonerskog praha u smjesu primijećeno je povećanje tvrdoće i viskoznosti u asfaltnoj smjesi. U usporedbi s „običnim” asfaltom primijećena je povećana stabilnost i čvrstoća pri višim temperaturama. Bitan faktor u istraživanju je duljina miješanja. Optimalna duljina miješanja je dva sata na temperaturi 163°C. Dodavanje 20 % tonerskog praha u asfaltnu smjesu rezultira poboljšanjem čvrstoće i temperaturne otpornosti asfalta. Najbolji rezultati se postižu ukoliko se otpadni tonerski prah doda u asfaltnu smjesu prije dodatka agregata, što se može postići uporabom ulja ili vode za jednoliku raspodjelu tonera u smjesu.[13]

5. OBNOVA TONERA

Europska direktiva (2012/19/EU) nalaže Pravilo 3R prema eng. *Reduce, Reuse, Recycle* u hijerarhiji gospodarenja i postupanja s otpadom. Hrvatska je kao i sve države EU prenijela ove odredbe u *Zakon o održivom gospodarenju otpadom* te članak 7. govori o Redu prvenstva u gospodarenju otpadom. Njegovom primjenom potiču se rješenja koja nude najbolji ishod za okoliš što može uključivati i prilagodbu reda prvenstva za gospodarenje određenom vrstom otpada ako je to opravdano rezultatima analize životnog ciklusa ukupnih učinaka stvaranja i gospodarenja tom vrstom otpada.

U svrhu sprječavanja nastanka otpada te primjene propisa i politike gospodarenja otpadom primjenjuje se Red prvenstva gospodarenja otpadom, i to:

1. sprječavanje nastanka otpada,
2. priprema za ponovnu uporabu,
3. recikliranje,
4. drugi postupci uporabe npr. energetska uporaba i
5. zbrinjavanje otpada.[14]

Iz gore navedenog zakona vidljivo je da priprema za ponovnu uporabu, obnavljanje tonera, ima prednost pred procesom recikliranja otpadnih tonera.

Obnavljanje tonera je tehnički postupak koji započinje procjenom kazete tonera, slijedi otvaranje kazete, detaljno čišćenje (usisavanje, ispuhavanje, poliranje), zamjena dijelova (npr. optički bubanj, wiper-blade, doctor-blade) i ugradnje, po potrebi, novog čipa.

Nakon toga potpuno očišćena kazeta tonera se puni originalnim prahom odgovarajućeg tipa granulacije za određeni model laserskog printera.

Poslije spomenutih postupaka, kazeta tonera se testira na laserskom pisaču gdje mora zadovoljiti sve testove ispisa, te se nakon zadovoljenog rada smatra ispravnom i sposobnom za uporabu.[15]

Obnavljanje tonera je djelatnost kojom se bavi velika većina tvrtki na hrvatskom tržištu koja prodaje i servisira uređaje i opremu za printanje i fotokopiranje. Ova djelatnost proizašla je iz činjenice da je udio cijene tonera u odnosu na cijenu samog uređaja za printanje cca 60-70 %.

Naime proizvođači uređaja i opreme nadoknađuju cijenu printera kroz cijenu potrošnog materijala - tonera. Kako bi korisnici uređaja uštedjeli na cijeni tonera, istrošene kazete tonera šalju na ponovno punjenje (eng. *refill*).

Osim naglaska na ekološku svijest korištenjem jedne toner kazete u obnovi od 2-3 puta, naglašena je i velika ekonomska isplativost uz uvjet da je zadovoljena kvaliteta.

Tablica 5. Usporedne cijene originalnih i obnovljenih tonera

<i>Proizvođač</i>	<i>Cijena originalnog tonera</i>	<i>Cijena obnovljenog tonera</i>
HP C4092A	704,00 kn	262,50 kn
CANON CRG-707	555,07 kn	362,50 kn
BROTHER TN230 BK	603,00 kn	400,00 kn
EPSON EPL 5500	505,90 kn	306,25 kn

Iz Tablice 5. je vidljiva razlika u cijeni originalnih tonera u odnosu na obnovljene tonere. Cijena obnovljenih tonera je manja za 40 do 60 % od cijene originalnih tonera. Ovo je vrlo bitno za hrvatsko tržište s obzirom da je manja cijena proizvoda osnovni kriterij kupovine.

Prilikom procesa obnavljanja tonera javljaju se slijedeća pitanja koja nisu regulirana i ne postoje zakonom propisani dokumenti koji to kontroliraju (npr. atesti kvalitete):

1. stručnost i kvaliteta procesa punjenja - prilikom nestručnog čišćenja kazete tonera i njezinog ponovnog punjenja može doći do rasipanja tonerskog praha što ima za posljedicu zagađenje okoliša i štetni utjecaj na ljudsko zdravlje
2. kvaliteta obnovljenog tonera - jesu li zamjenski dijelovi i zamjenski prah adekvatne kvalitete za upotrebu
3. nastali otpad prilikom postupka ponovnog punjenja - gdje završavaju zamijenjeni dijelovi iz tonera (komunalni otpad ili reciklažna dvorišta); gdje i na koji način se zbrinjava tonerski prah koji je po svojem sastavu otrovan i u određenim uvjetima eksplozivan.

6. RECIKLIRANJE OTPADNIH TONERA

Shodno već spomenutom redu prvenstva u gospodarenju otpadom koji je propisan člankom 7. *Zakona o održivom gospodarenju otpadom*, iza sprječavanja nastanka otpada te ponovne uporabe na trećem mjestu je proces recikliranja. U članku 4. istog Zakona definiran je pojam recikliranja: "»recikliranje« je svaki postupak oporabe, uključujući ponovnu preradu organskog materijala, kojim se otpadni materijali prerađuju u proizvode, materijale ili tvari za izvornu ili drugu svrhu osim uporabe otpada u energetske svrhe, odnosno prerade u materijal koji se koristi kao gorivo ili materijal za zatrpavanje".[14]

Mehanički proces recikliranja smatra se učinkovitom tehnologijom u recikliranju EE-otpada iz razloga što prilikom samog procesa ne dolazi do sekundarnog zagađenja.

6.1. Separacija vrtložnim strujama - Eddy current

Vrtložne struje, koje se nazivaju i Foucault strujama [fuko'~] po Léonu Foucaultu, su električne struje velike jakosti, koje nastaju u unutrašnjosti metalnih vodiča podvrgnutih djelovanju promjenljivoga magnetskoga polja.

Naziv *vrtložne struje* su dobile zbog toga što teku u zatvorenim krivuljama nalik vrtlozima. U električnim strojevima (generatorima, transformatorima) one su nepoželjne jer zagrijavaju metalnu armaturu, što je dvostruko štetno: izazivaju gubitak energije i povišenje radne temperature stroja. Kako bi se Foucaultove struje smanjile ili oslabile, metalni se dijelovi električnih strojeva izrađuju od tankih lamela (0,3 do 5,5 mm debljine) međusobno razdvojenih izolatorom (slojem laka ili tankoga papira).

Foucaultove struje mogu se korisno upotrijebiti i kod indukcijskih peći, elektrodinamičkih prigušivača, elektromagnetskih kočnica na vozilima, kao i za otkrivanje pukotina i nedostataka u metalnim dijelovima pomoću instrumenata za ispitivanje na bazi vrtložnih struja.[16]

6.1.1. Povijest otkrića vrtložnih struja

François Arago (1786-1853), 25. premijer Francuske, koji je također bio matematičar, fizičar i astronom je prvi počeo promatrati vrtložne struje. Godine 1824. proučavao je rotirajući magnetizam, te da dobro vodljiva tijela mogu biti magnetizirana. Ova otkrića su dovršena i objašnjena od strane Michaela Faradaya (1791.-1867.).

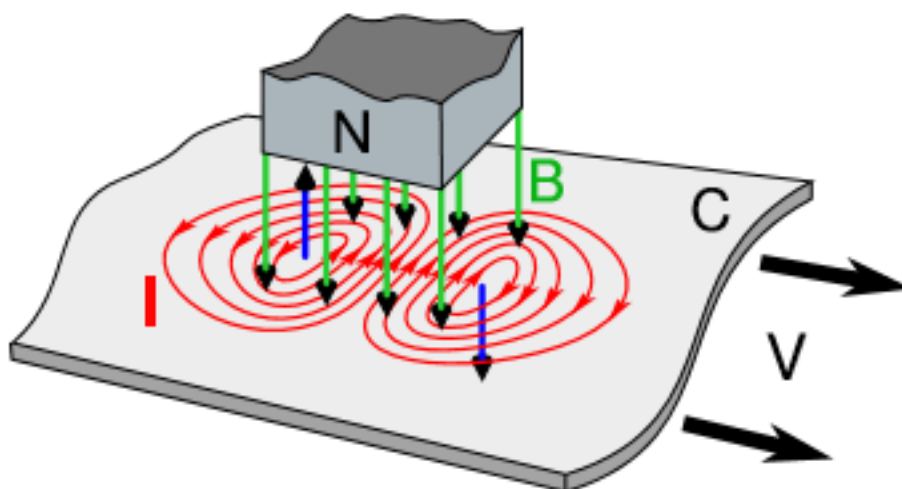
Godine 1834. Heinrich Lenz postavio je zakon, po njemu nazvan Lenzov zakon, koji kaže da će smjer inducirana električnoga napona i njime pokrenute električne struje u strujnoj petlji kroz koju se mijenja magnetski tok biti uvijek takav da poništava promjenu magnetskoga toka kojim je napon induciran, to jest magnetski tok inducirane struje uvijek je suprotan izvornomu magnetskom toku.

Francuskom fizičaru Léonu Foucaultu (1819-1868) pripisuje se otkrivanje vrtložnih struja.

U rujnu 1855. otkrio je da snaga potrebna za rotaciju bakrenog diska postaje veća kada disk rotira između polova magneta. Istodobno se disk zagrijava istim vrtložnim strujama induciranim u metalu.[17]

6.1.2. Opis i primjena vrtložnih struja

Vrtložne struje teku u zatvorenom položaju petlje unutar vodiča, u ravninama okomito na magnetsko polje. Mogu biti izazvane blizinom stacionarnih vodiča vremenski promjenjivim magnetskim poljem stvorenim pomoću izmjeničnih elektromagneta ili transformatora ili relativnim kretanjem između magneta i susjednog vodiča. Magnituda struje u danoj petlji je proporcionalna snazi magnetskog polja, području petlje i stopi promjene fluktuacije, a obrnuto proporcionalna otpornosti materijala.[17]

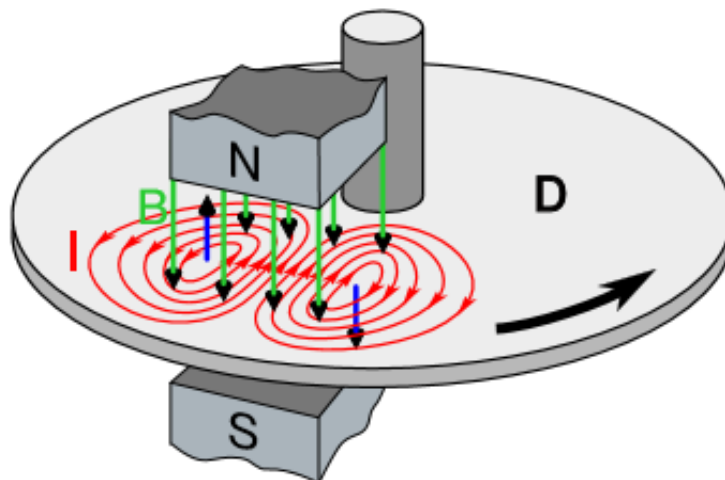


Slika 10. Shema nastajanja vrtložnih struja [17]

Magnet inducira vrtložne struje (I , crvene) u vodljivoj metalnoj ploči (C) koje se kreću ispod magneta (N). Magnetsko polje (B , zeleno) usmjereno je prema dolje kroz ploču.

Povećanje jakosti polja na prednjoj strani magneta (lijevo) uzrokuje strujanje u smjeru suprotnom od kazaljke na satu, koje Lenzovim zakonom stvara vlastito magnetsko polje (strelica lijevo-plava) usmjereno prema gore, koje se protivi magnetskom polju, stvarajući silu usporavanja.

Nadalje, na krajnjem rubu magneta (desno) stvara se struja u smjeru kazaljke na satu i prema dolje (desna boja) koja također stvara silu usporavanja.[17]



Slika 11. Shema vrtložnih struja u kočnici [17]

Ovaj efekt se primjenjuje u "eddy current" kočnicama (Slika 11.), a koriste se za brzo zaustavljanje rotirajućih električnih alata kada se isključe.

Vrtložno-strujna separacija je najprikladnija tehnologija za recikliranje metala kao što su bakar, aluminij te ostali nemetali dobiveni iz industrijskog i komunalnog krutog otpada.

Danas se vrtložno-strujna separacija učestalo koristi u industrijama za recikliranje automobila (ELV, End of Life Vehicles Directive 2000/53/EC), elektronici (WEEE, The Waste Electrical and Electronic Equipment Directive 2012/19/EU), rušenju (D&CW, Construction and Demolition Waste, The Waste Framework Directive 2008/98/EC), te za obradu nemetalnih materijala.

Prema proizvođačima opreme, oko 500 takvih separatora instalirano je diljem Europe, a većina u proteklom desetljeću.[18]

U industriji recikliranja elektronike vrtložno-strujna separacija prikladna je za odvajanje metala od nemetala. Bitan uvjet je veličina čestica koje se separiraju. Mogu biti učinkoviti samo za materijale s veličinom čestica između 0,6 i 1,2 mm. Budući da gotovo sve komponente elektroničkog otpada pokazuju razliku u provodljivosti, elektrostatička metoda se općenito koristi za odvajanje polimera od metala i odvajanje različitih vrsta polimernih materijala u otpadu.[18]

Nedostaci ove metode su vlažnost materijala koji se separira (materijal se prije separacije mora osušiti), a kapacitet je vrlo mali za sitno odvojene materijale. Za najučinkovitije odjeljivanje, ulazni materijal treba biti jednoslojan i imati veličinu čestica manju od $75\mu\text{m}$. [18]

Prilikom rada pokraj vrtložno-strujnih separatora treba voditi brigu o njihovom negativnom djelovanju na neke aparate: npr. mobilne uređaje, instrumente za kontrolu i sl. Štetni utjecaj imaju i na osobe koje imaju ugrađeni "pacemaker". Pravila zaštite na radu nalažu postavljanje znaka upozorenja na vidljivo mjesto na samom stroju ili uređaju koji koriste jake magnete.



Slika 12. Znak upozorenja [19]

6.2. Dijelovi linije za recikliranje otpadnih tonera

Separacija vrtložnim strujama, kao jedna od tehnologija, primjenjuje se u proizvodnom pogonu ovlaštenog obrađivača EE-otpada SPECTRA-MEDIA u Donjoj Bistri. Slijedi opis postupka obrade koji se provode na stroju za recikliranje otpadnih tonera.

Glavna svrha stroja je izdvajanje sitnog tonerskog praha od ostalih materijala koji se mogu reciklirati, te njegovo inertiranje, tj. uklanjanje opasnosti, prvenstveno eksplozivnosti.





Slika 13. Linija za obradu otpadnih tonera

Tablica 6 Dijelovi linije

1	Ulaz tonera – punjenje stroja	5	Separacija praha i ostalih krutih dijelova
2	Ulazna transportna traka	6	Transportna traka separiranih metala i polimera
3	Doziranje kalcita, drobljenje tonera i praha u usitnjivaču otpada, tzv. šrederu	7	Pužni transporter – mješavine kalcita i tonerskog praha
4	Usipni koš inertnog praha	8	Elektro upravljački ormar

6.3. Opis tehnološkog procesa na liniji za recikliranje tonera

Postupak obrade otpadnih tonera započinje ubacivanjem tonera koje se vrši manualno. Ubačeni toneri se pomoću transportne trake prenose do usitnjivača gdje se odvija proces usitnjavanja. Kvaliteta usitnjavanja ovisi o fizikalnim karakteristikama materijala koji uključuju tvrdoću, čvrstoću, svojstvo lijepljenja te veličinu komponenata. Kako sastav materijala otpadnih tonera ima veliku tvrdoću i čvrstoću, za usitnjavanje se koristi četveroosovinski usitnjivač - šreder s 12 noževa jer je potrebna silovita i impulzivna snaga.

Iznad usitnjivača se nalazi dozator kalcita. Prilikom usitnjavanja tonerskog spremnika dozator kalcita direktno ispušta kalcit u obliku praha po noževima usitnjivača. Kalcit na sebe veže crni ugljik tonerskog praha, te ima ulogu sprječavanja emisije otrovnog tonerskog praha u okolinu ili eksplozije. Tako usitnjeni dijelovi tonerskog spremnika zajedno s kalcitom putem cilindričnog vibracijskog stola transportiraju se u rotacijsko sito. Sito ima veličinu otvora 2mm tako da se materijal unutar sita zadržava cca 15 minuta, a rotacijsko sito se okreće brzinom 50/min. Unutar rotacijskog sita se nalaze lopatice koje uslijed rotacije usmjeravaju materijal prema izlazu.

Tijekom tog procesa dolazi do odvajanja mješavine tonerskog praha i kalcita od čvrstih komponenata. Mješavina pada u spremnik koji se nalazi ispod rotacijskog sita i putem pužnih transportera transportira se u vreću na prvom izlazu (Slika 14.).



Slika 14. Tonerski prah pomiješan s kalcitom

Na drugom izlazu, transportnom trakom izlaze preostali dijelovi obrađenih otpadnih tonera: polimerni materijali, aluminij i čelik (Slika 15.).



Slika 15. Ostali dijelovi obrađenih tonera

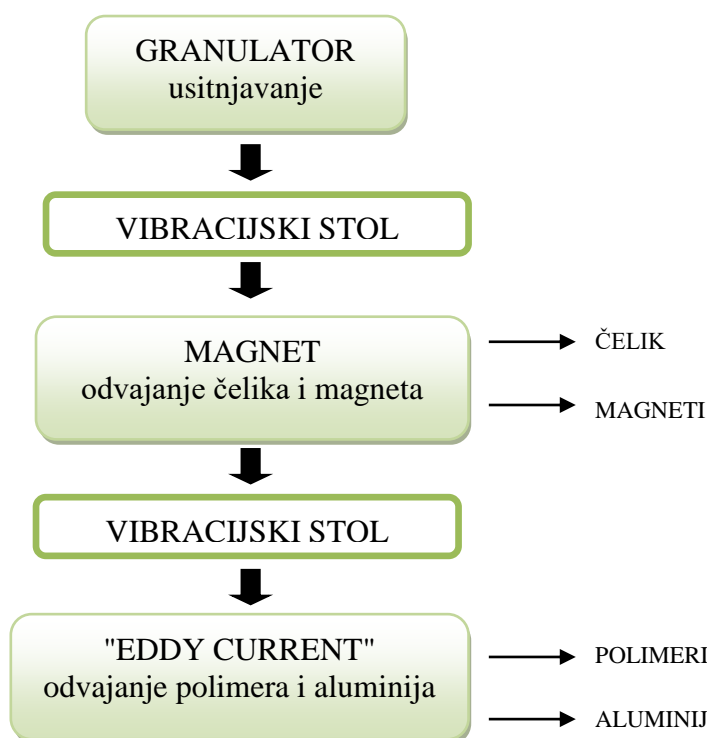
Stroj je opremljen s odsisnim ventilatorom koji sprečava da se zaostali prah i kalcit ne emitiraju u okoliš. Pomoću ciklona i vrećastog filtra izdvajaju se u poseban spremnik. Ciklon, filter i spremnik se nalaze s vanjske strane pogonske zgrade, što je prikazano na Slici 16.



Slika 16. Ciklon i filter s vanjske strane pogonske zgrade

6.4. Daljnja obrada dobivenih frakcija

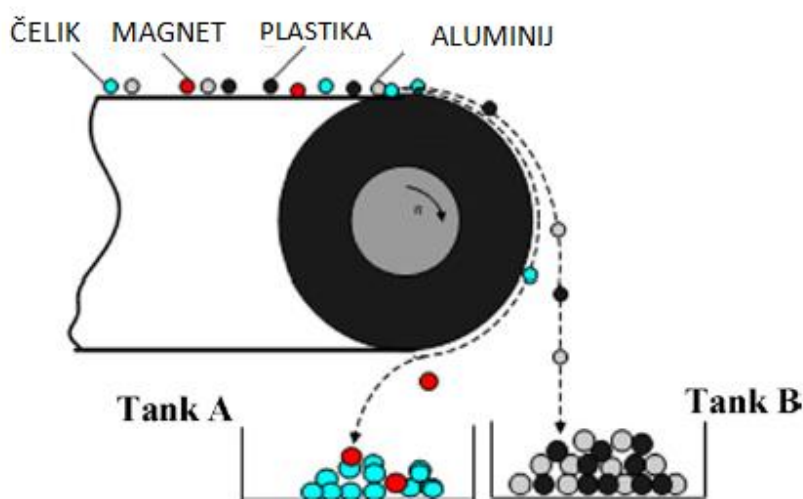
Frakcija dobivena na drugom izlazu: polimerni materijali, aluminij i čelik odlaze na daljnju obradu na sljedeću procesnu liniju. Linija se sastoji od granulatora, dva vibracijska stola, magnetskog separatora i vrtložno-strujnog separatora (eng. eddy current separator) što je prikazano u shemi (Slika 17.).



Slika 17. Shema linije za obradu dobivenih frakcija

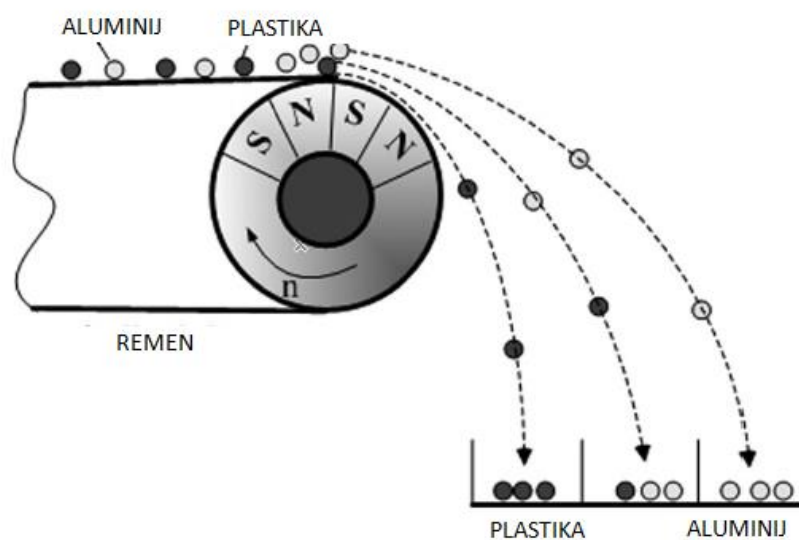
Prva faza obrade započinje usitnjavanjem krupnog materijala na granulatoru - mlinu za usitnjavanje. Dobivena usitnjena frakcija je veličine 30 mm koja pada na vibracijski stol. Njegova je uloga da rastrese materijal i kontinuirano dozira dolazak tog materijala na magnet koji vrši separaciju.

Za odvajanje metala, aluminijskog i polimernog nakon usitnjavanja iz otpadnih tonera koristi se metoda magnetske separacije. Magnetični materijali se vrlo lako odvajaju iz usitnjenih dijelova, dok se metali odvajaju ako je magnetska sila jača od gravitacije. Feromagnetični materijali se prikupljaju u jednom spremniku (tank A) pod djelovanjem magnetske i gravitacijske sile, dok se nemagnetični materijali (aluminij i polimeri) pod utjecajem gravitacijske sile odvajaju u drugi spremnik (tank B) kao što je vidljivo na Slici 18. Brzina rotacije kod magnetskog separatora može utjecati na kvalitetu samog procesa pa se većim brzinama postiže i bolja magnetska separacija.



Slika 18. Shematski prikaz rada magnetskog separatora [9]

Nakon magnetske separacije slijedi izdvajanje aluminijskih i polimernih komponenti iz otpadnih tonera pomoću vrtložno-strujnog separatora (Slika 19.). Kvaliteta izdvajanja materijala pomoću ovih separatora ovisi o fizikalnim karakteristikama (veličini, orijentaciji i obliku) i operacijskim faktorima (brzini separatora). Separatori stvaraju magnetno polje te se istovremeno stvara magnetski tok suprotnog smjera u aluminiju iz otpada (suprotni magnetski tok iz aluminija se može smatrati novim induciranim magnetskim polom). Zatim se stvara odbojna sila između inducirano magnetskog pola i separatora. Odbojna sila uzrokuje odvajanje aluminija od polimera.



Slika 19. Shematski prikaz rada separatora s vrtložnom strujom [9]

Na slikama 20., 21. i 22. prikazane su dobivene frakcije izlaznog materijala nakon linije 2.



Slika 20. Dobivena frakcija čelika i magneta



Slika 21. Dobivena frakcija aluminija



Slika 22. Dobivena frakcija polimernih materijala

Dobiveni izlazni materijal propušta se ponovno kroz liniju broj 2. kako bi se postigao što čišći, tj. homogeniji izlaz dobivenih frakcija. Kvaliteta obrađenog materijala ovisi o postotku čistoće izlazne frakcije.

7. ZAKLJUČAK

S obzirom na rast količine otpada na globalnoj razini i smanjenje količine potrebnih sirovina za proizvodnju, sve je veća svijest građana o potrebi očuvanja okoliša i zdravlja, te je potrebno razmišljati o postupcima koji bi pridonijeli ispunjenju zahtjeva održivog razvoja u gospodarskom, ekonomskom i socijalnom smislu.

Cilj ovog rada bio je prikazati i objasniti Pravilo 3R (eng *Reduce, Reuse, Recycle*) koji govori o hijerarhiji gospodarenja i postupanja otpadom, u ovom slučaju u gospodarenju otpadnim tonerima koji su dio električnog i elektroničkog otpada. Nadalje, predstavljene su mogućnosti i uvjeti obnove dotrajalih tonera i njihove ponovne upotrebe, kao i tehnologije zbrinjavanja i mogućnosti recikliranja otpadnih tonera.

Iz navedenog se može zaključiti da je u Hrvatskoj ekonomski efekt, kod obnove dotrajalih tonera i njihove ponovne upotrebe veći od rezultata koji se dobiju u postupku oporabe i recikliranja otpadnih tonera. Naime, sakupljene količine tonera koje idu u proces recikliranja nisu dosegle zadane količine prema Planu gospodarenja otpadom.

LITERATURA

- [1] Salhofer, S., Tesar, M.: Assessment of removal of components containing hazardous substances from small WEEE in Austria, *Journal of Hazardous Materials* 186 (2010) 1481-1488
- [2] Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost, <http://www.fzoeu.hr>, (veljača 2018.)
- [3] Pravilnik o gospodarenju otpadom električnom i elektroničnom opremom (NN 42/14)
- [4] Pravilnik o katalogu otpada (NN 90/15)
- [5] banner5, http://www.chiragcomputer.com/p-detail.php?p_id=2, (5. 2. 2018.)
- [6] Pisač računala, <http://www.informatika.buzdo.com/s205-pisac-racunala.htm>, (6. 2. 2018.)
- [7] Prateći list za otpad, <http://www.mzoip.hr/hr/otpad/obrasci-i-upute.html>, (8. 2. 2018.)
- [8] Zbrinjavanje tonera, <http://ee-otpad.com/zbrinjavanje-tonera.php>, (7. 2. 2018.)
- [9] Ruan, J., Li, J., Xu, Z.: An environmental friendly recovery production line of waste toner cartridges, *Journal of Hazardous Materials* 185 (2011) 696–702
- [10] Ahmadi, A., Williamson, B. H., Theis, T. L., Powers, S.E.: Life-cycle inventory of toner produced for xerographic processes, *Journal of Cleaner Production* 11 (2003) 573–582
- [11] Koseki, H.: Study and countermeasure of hazard of dust explosion of various toner cartridges, Chiba Institute of Science, *Procedia Engineering* 84 (2014) 273-279
- [12] Anić Vučinić, A., Vujević, D., Mujkić, K., Novak, M.: Recycling of waste toner in the Republic of Croatia - An environmentally friendly approach, *Chemical Engineering Transactions* 34 (2013.) 121-126
- [13] Yildirim, Y., Hazlett, D., Davio, R.: Toner-modified asphalt demonstration projects, The Recycled Materials Resource Center At the University of New Hampshire Transportation Research Board Committee on Waste Management, Resources, Conservation and Recycling 42 (2004) 295–308
- [14] Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13)
- [15] Obnova tonera, <http://www.obnova-tonera.com> (7. 2. 2018.)
- [16] Foucaltove struje, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=20293>, (10. 2. 2018.)

- [17] https://www.princeton.edu/ssp/joseph-henry-project/eddy-currents/eddy_wiki.pdf,
(10. 2.2018.)
- [18] Chagnes,A., Cote, G., Egberg, C., Nilsson, M., Retegan, T.: Physical Separation in Waste Electrical and Electronic Equipment Recycling, WEEE Recycling, Research, Development and Policies, Elsevier (2016) 53-74
- [19] MagnetUNWarning2, <http://ecs.victoria.ac.nz/technical/TeReoPhysics/CircuitsAndElectromagnetism/EddyCurrentVanes/MagnetUNWarning2.jpg>,
(10. 2. 2018.)